

De maritieme toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge: problematiek, kadering en mogelijke oplossingen

Van Zwijnsvoorde Thibaut

Vakgroep Civiele Techniek, Universiteit Gent
Boomgaarden 4, B-8300 Knokke-Heist, Belgium
E-mail: thibaut.vanzwijnsvoorde@ugent.be

Samenvatting

Scheepvaart wordt gekenmerkt door het 'schaaleffect'. Dit betekent dat het per eenheid goedkoper is om een grote hoeveelheid goederen per schip te vervoeren. Om deze reden worden schepen steeds groter, vooral dan in de containervaart. De capaciteit van deze schepen groeit exponentieel de laatste decennia. Niet alleen de sluizen, maar ook de havens moeten worden aangepast aan deze oceaanreuzen. Vanuit het havenbestuur moet kunnen worden gegarandeerd dat deze schepen de haven veilig kunnen betreden. Hierbij moet zowel een voldoende diepgang als een voldoende manoeuvreerbaarheid worden gewaarborgd. Om deze laatste reden is het belangrijk een rustig zeeklimaat te garanderen bij het binnenvaren van de haven. In de onderliggende thesis wordt onderzocht hoe de dwarsstromen, spruitend uit het getij in de Noordzee, kunnen worden beperkt. Hiervoor wordt een fysisch schaalmodel van het havengebied aangewend.

Kernwoorden

Getij; masterplan Vlaamse Baaien; fysisch schaalmodel; EMS; PTV; getidenturbines; turbulentie.

I. Introductie

A. West-Europa : grote havendensiteit

In deze tijden van besparingen en een stagnerende economische groei, hebben bedrijven het moeilijk om competitief te blijven. Een havenbedrijf vormt hierop geen uitzondering en moet steeds concurreren met omliggende havens. Door de grote densiteit aan havenfaciliteiten in de 'Le Havre - Hamburg range', hebben rederijen een ruime keuze betreffende welke havens ze aandoen. Elke haven moet zich dus zo aantrekkelijk mogelijk opstellen.

De haven van Zeebrugge bevat een belangrijke troefkaart, namelijk het feit dat deze haven aan de Noordzee gelegen is. De schepen kunnen dus zeer snel van hun vaarroute in de Noordzee afwijken om dan via de Pas van het Zand aan te meren in de Zeebrugse haven. Natuurlijk komt de directe verbinding met de Noordzee met een belangrijk nadeel, namelijk de aanwezigheid van een (sterke) eb- en vloedstroom. Deze bemoeilijkt de toegang tot de haven, zeker wanneer de stroomsnelheid maximaal is.

B. Probleemstelling

Een toevallige passant zal het getijdenfenomeen steeds verbinden met een variatie van de waterspiegel. Deze variatie kan inderdaad makkelijk visueel worden waargenomen, wanneer bij het doorbrengen van een dagje aan zee, de zandkastelen worden opgeslokt door de opkomende zee. Bij laag water kunnen schepen met een diepgang van 16m inderdaad de haven niet binnenvaren. Hierdoor kunnen deze schepen slechts 8 tot 10 uur per dag de haven veilig aandoen, op basis van dit criterium.

In de periode rond hoogwater, zal de kielspeling van de schepen het grootst zijn, wat vanuit hydrodynamisch oogpunt de meest interessante periode is om de haven binnen te varen. Een uur voor hoogwater wordt echter de vloedstroom, die van west naar oost voorbij de haven trekt, maximaal. Hierdoor kunnen schepen de haven niet veilig betreden, ondanks de grote kielspeling. Het vaarvenster wordt dan ook verder beperkt, naar een vier tot 6 uur per dag. Deze beperking wordt opgelegd omwille van volgende redenen:

1. Eenmaal de haven bereikt, valt de dwarsstroom plots weg, door de aanwezigheid van de strekdammen. Dit betekent dat een schip, dat steeds tegen de stroom invaart bij het naderen van de havenmond, zal overcorrigeren na de passage door de havenmond. (zie Fig. 1)

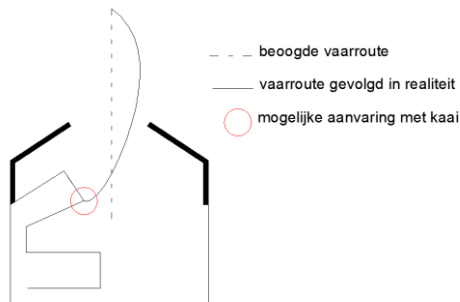


Fig. 1. Overcorrectie schip na passage door de havenmond.

2. Wanneer het schip zich bevindt per plaatse van de havenmond, zal een deel van het schip nog steeds een zeer sterke stroming ondervinden, waar het ander deel van het schip zich reeds in de luwe zone achter de strekdammen bevindt. Hierdoor werkt er een (gevaarlijk) draaimoment in op het schip (zie Fig. 2)

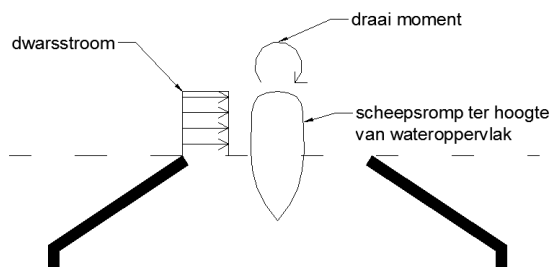


Fig. 2. Draaimoment geïnduceerd door de aanwezige stroming op de helft van de scheeps lengte.

3. Om weerstand te bieden tegen de aanwezigheid van een (sterke) dwarsstroom, moet het schip steeds varen met een zeker drifthoek. Aangezien de snelheden bij naderen van de haven zeer laag zijn, moet deze drifthoek groot zijn, om een voldoende grote dwarsnelheidscomponent te kunnen leveren. Met een dwars schip door een nauwe opening varen, bevordert natuurlijk niet de veiligheid van dit manoeuvre. (zie Fig. 3)

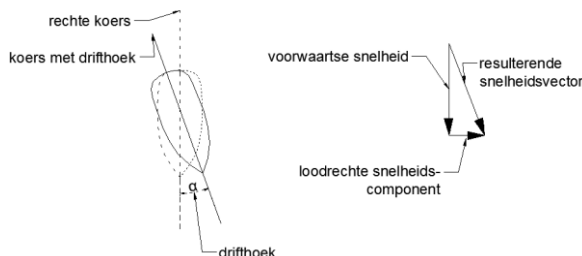


Fig. 3. Drifthoek, nodig om een rechte koers aan te houden bij de aanwezigheid van een dwarsstroom.

Stroomsnelheden tot 4 knoop (1 knoop = 1 zeemijl/uur = 1,852km/uur = 0,5144m/s) kunnen optreden, wat de navigatie van oceaaneuzen bemoeilijkt. De maximale snelheid, waarbij schepen de haven veilig kunnen betreden, bedraagt 2" knoop voor grote containerschepen (>200m) en 1,5 knoop voor LNG carriers (huidig criterium).

C. De getijbeweging

Getijwerking is een gevolg van de gravitationele aantrekkingskracht tussen de aarde enerzijds en de zon en maan anderzijds. De grootte van de beweging hangt zowel af van de relatieve positie van zon en maan (denk aan springtij) en van de karakteristieken van kustlijn en bodem (niet overal is de amplitude van de beweging even groot). In Zeebrugge bedraagt de amplitude van het getij ongeveer 4,3m gedurende springtij, waar in bijvoorbeeld de 'Bay of Fundy', de amplitude 16,3m bedraagt!

D. Kadering binnen het masterplan Vlaamse Baaien

Mede dankzij inspanningen van het onderwijsend team aan de diverse universiteiten, studeert elke ingenieur af met een notie van het begrip integraal waterbeleid. Dit begrip duidt aan dat de ingenieur niet enkel aandacht schenkt aan het kernprobleem, wat in dit geval economisch van aard is, maar ook steeds aan andere belangrijke pijlers voldoende aandacht schenkt. Ook de studie die wordt uitgevoerd rond de haven van Zeebrugge, is een onderdeel van een groter plan, namelijk het masterplan Vlaamse Baaien. Dit plan vormt de concrete vertaling van een langetermijnvisie, waarbij

rekening wordt gehouden met economie, recreatie, fauna en flora, veiligheid en sociaal engagement.

Concreet betekent dit dat het toegankelijk houden van de haven van Zeebrugge voor grote schepen, wordt gekaderd in een groter geheel. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van volgend voorbeeld. Zandformaties, die worden opgespoten voor de kust, kunnen naast het weggeleiden van de dwarsstroom ook worden gebruikt in het kader van kustverdediging, om zo een natuurlijke langetermijnoplossing te bieden. Ook kunnen deze zandformaties fungeren als eilandjes, waarop enkele vakantiewoningen kunnen worden gebouwd.

Het getij kan ook worden gebruikt om energie op te wekken. Denk maar aan de plannen om een energieatol, die fungeert als een waterkrachtcentrale (gebruikmakend van het verschillende waterpeil bij eb en vloed), te bouwen voor de Belgische kust. Een alternatief bestaat uit het plaatsen van getijdenturbines, die stroom opwekken analoog aan gewone windturbines. Enkel het stromingsmedium verschilt hierbij ((zout) water in plaats van lucht).

II. Het fysisch schaalmodel van de haven van Zeebrugge

Bij het in kaart brengen van stromingsproblemen, worden klassiek twee types modellen gebruikt. Een numeriek model is relatief snel en vergt weinig personeel, eenmaal het model op punt is gezet. Een fysisch model daarentegen is duurder in aanbouw en ook het dagelijks gebruik ervan zorgt voor een grote kost. Daarentegen staat het voordeel dat geen benaderingen moeten worden gemaakt in de wiskundige vergelijkingen en dat bepaalde fysische processen automatisch worden meegenomen, die numeriek moeilijk kan worden gemodelleerd. Een zeer concreet voorbeeld is het fenomeen turbulentie, wat wiskundig slechts beperkt, moeilijk en omslachtig in kaart te brengen is. Ook de mogelijkheid om een fysisch schaalmodel visueel te observeren, vormt een cruciaal voordeel. Deze thesis handelt over het gebruik van het fysisch model van de haven van Zeebrugge.

A. Karakteristieken van het fysisch havenmodel

Het fysisch model werd gebouwd in een grote hal van het Waterbouwkundig Laboratorium in Antwerpen. Het model stelt een deel van de Belgische kust voor ($\approx 15,5$ km tussen Wenduine en de Belgisch-Nederlandse grens). Het strekt zich 10 km zeewaarts uit (zie Fig. 4).

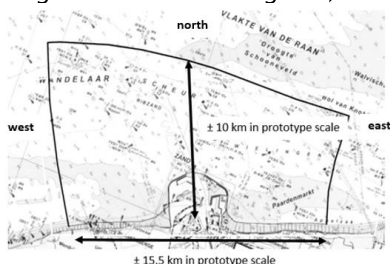


Fig. 4. Modelgrenzen fysisch model (Willems *et al.*, 2012).

Beide afstanden zijn natuurlijk zogenaamde 'prototype' maten. Deze moeten worden geschaald om vervolgens over te gaan naar een fysisch schaalmodel. In functie van de beschikbare oppervlakte in het labo, is gekozen voor een horizontale schaal van 1:300. Indien deze verscaling ook wordt toegepast op de waterdiepte, dan zou deze slechts 6 cm bedragen. Dit bemoeilijkt het uitvoeren van nauwkeurige metingen in het model en zorgt er bovendien voor dat het fysisch proces genaamd oppervlaktespanning niet meer zomaar kan worden verwaarloosd. Daarom is een schaal van 1:100 toegepast in de verticale richting. Dit wordt een vertrokken model genoemd. De schaaufactoren worden samengevat in Tabel I.

Tabel I. Schaalfactoren

Parameter	Schaalfactor	Symbool
Horizontale schaal	1:300	α_h
Verticale schaal	1:100	α_v
Tijdsschaal	1:30	α_t
Snelheidsschaal	1:10	α_u

In de wereld van het fysisch modelleren, wordt gestreefd naar een perfecte weerspiegeling van de prototype situatie. Dit is echter enkel een theoretisch concept, aangezien de verscaling ervoor zorgt dat alle krachten nooit op eenzelfde wijze kunnen worden geschaald. In een stromingsmodel is het van primordiaal belang dat de Froude getallen in model en prototype even groot zijn. Het Froude getal geeft de verhouding weer tussen traagheids- en gravitationele krachten. Dit kan worden vertaald naar volgende vergelijking:

$$Fr_m = Fr_p \Leftrightarrow \frac{U_m}{\sqrt{g \cdot h_m}} = \frac{U_p}{\sqrt{g \cdot h_p}} \Leftrightarrow \frac{\alpha_h}{\alpha_t} = \sqrt{\alpha_v}$$

Waar Fr_m en Fr_p de Froude getallen in respectievelijk model en prototype schaal voorstellen. Indien de schaalfactoren uit Tabel I worden ingevuld in de vergelijking, dan blijkt dat inderdaad wordt voldaan aan dit criterium. Door het gebruik van een vertrokken model, kan niet worden voldaan aan het principe van geometrische similariteit. Dit leidt tot vervorming van de neren (die ontstaan ten gevolge van turbulentie), in het schaalmodel.

In werkelijkheid bevindt zich een sliblaag op de bodem, die continu onderhevig is aan wijzigingen, zowel qua reologie als qua dikte van de sliblaag. In dit fysisch model wordt een vast bodemniveau gebruikt, waardoor er geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van slib. Dit effect wordt numeriek wel meegenomen.

B. Meettoestellen

De nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt natuurlijk niet enkel bepaald door de werking van fysisch model in se. De meettoestellen dragen minstens evenveel bij tot de correctheid van het resultaat. In het model van Zeebrugge worden twee meettoestellen gebruikt om de stroomsnelheden van het water in beeld te brengen. Enerzijds worden puntsnelheden gemeten op een vast punt in de waterkolom met behulp van een elektromagnetische snelheidsmeter (EMS). De nauwkeurigheid van de gebruikte toestellen bedraagt $\pm 0,01\text{m/s}$. De '*particle tracking velocimetry (PTV)*' techniek wordt gebruikt om oppervlakesnelheden in kaart te brengen over een bepaalde sectie van het wateroppervlak. De PTV techniek vergt verschillende stappen om over te gaan van een video-opname naar een vectorplot van de snelheden. De overgang tussen louter beelden en snelheidsvectoren gebeurt met behulp van Streams (Nokes, 2012). Een voorbeeld van de output, met behulp van het rekenprogramma MATLAB, wordt in Fig. 5 getoond. Hier wordt een contourplot getoond van de totale stroomsnelheid voor de havenmond. Ook de snelheidsvectoren worden hierop afgebeeld, waaruit de stroomrichting kan worden afgeleid. Deze figuur werd gemaakt op basis van 14 cameraopnames. Dit benadrukt nogmaals het arbeidsintensief karakter van het fysisch modelleren.

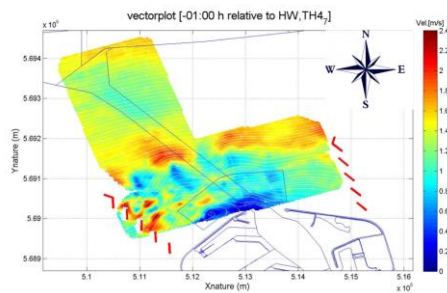


Fig. 5. Contourplot snelheden [1uur voor hoog water] (MATLAB).

III. Mogelijke oplossingen

In voorgaande paragrafen werd het probleem van het voorkomen van hoge dwarsstroomsnelheden al meermaals belicht. Deze komen voor bij zowel de eb- als de vloedfase. De focus ligt hier op de vloedfase, omdat gedurende deze fase de schepen met maximale diepgang de haven aandoen. Volgende oplossingen ter vergroting van het vaarvenster voor grote containerschepen en LNG carrier worden aangereikt:

- Uitdiepen van de vaargeul voor de havenmond
- Stroom wegleiden van de havenmond
- Ladingsverliezen creëren door turbulentie
- Plaatsen van getijdenturbines (niet in het fysisch havenmodel getest)

A. Uitdiepen van de vaargeul voor de havenmond

Bij het aanvatten van het thesiswerk was deze uitdieping reeds aanwezig in het fysisch model. Door het (semi-) permanent karakter van deze ingreep, bleef deze verdieping aanwezig tijdens de gehele proevenreeks die in deze thesis wordt beschreven. De ligging van de put wordt reeds getoond in Fig. 5. In Fig. 6 wordt deze nogmaals verduidelijkt, zonder aanwezigheid van snelheidscontouren en dammen.

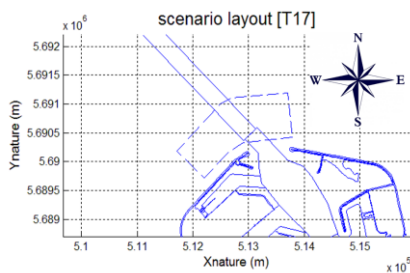


Fig. 6. Aanduiding van de zone met verlaagde bodem.

De bodem werd verlaagd met 10m prototype schaal (10cm in model schaal). Dit betekent dat de waterdiepte bij hoog water met ongeveer 50% toeneemt (20m → 30m). Hiertegenover staat een stroomsnelheidsafname van ongeveer 10% bij maximale vloedstroom. Dit betekent dat de marginale snelheidsverlaging wellicht niet opweegt tegen de kostprijs van de baggerwerken, louter vanuit hydrodynamisch oogpunt. Indien deze put kan worden gebruikt als sedimentverzamelplaats, kan de economische verantwoording alsnog worden gemaakt.

B. Stroom wegleiden van de havenmond

Een tweede optie bestaat erin de getijstroom weg te leiden van de havenmond, om zo een luwe zone te creëren. Hierdoor vergroot de veiligheid van de schepen. Een voorbeeld van een dergelijke ingreep wordt gegeven in Fig. 7. In dit geval wordt de vloedstroom, die van west naar oost voorbij de haven stroomt, weggeleid van de havenmond door de aanwezigheid van een dam ten oosten van de haven.

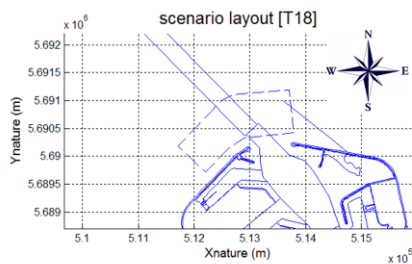


Fig. 7. Scenario T18_1.

Dergelijke scenario's hebben alle een soortgelijk nadeel: de stroming wordt onderworpen aan een bepaalde mate van contractie. Hierdoor vergroten de stroomsnelheid tijdens de eb- of vloedfase. Deze oplossing zorgt dus niet voor een lagere stroomsnelheid. Wel kan het criterium, dat wordt aangereikt in paragraaf 0, worden versoepeld, door de lagere stroomsnelheid dicht bij de havenmond. Hierdoor vergroot het vaarvenster.

C. Ladingsverliezen creëren door turbulentie

Deze oplossing vormt een alternatief op de plaatsing van verschillende grote dammen. Een reeks kleine dammen zorgt ervoor dat turbulentie wordt gecreëerd in de onmiddellijke omgeving van deze dammen. Een voorbeeld van een dergelijke configuratie werd reeds gegeven in Fig. 5. Een mogelijke verklaring voor het vormingsproces van deze turbulentie wordt gegeven in Fig. 8. De aanwezigheid van de kleine dammen (zwart), zorgt ervoor dat de getijstroom gedeeltelijk wordt afgebogen (rode lijn). Wanneer beide stromingen elkaar ontmoeten, ontstaat turbulentie, wat zich vertaalt in de vorming van een neer. Dit vormingsproces werd visueel geobserveerd en geverifieerd op basis van PTV-metingen.

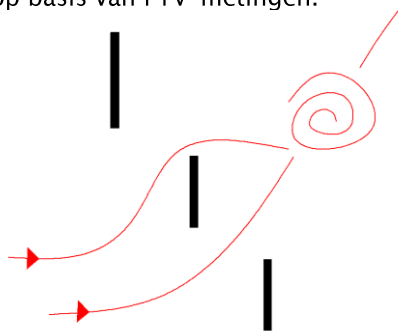


Fig. 8. Ontstaan van turbulentie door de aanwezigheid van dammen.

Turbulentie betekent energieverlies. Indien er minder energie aanwezig is op het moment dat het water door de Pas van het Zand stroomt, zal de stroomsnelheid lager liggen. Hierbij moet wel worden vermeden dat de turbulente beweging zich uitstrekt tot in de vaargeul. Ook moet rekening gehouden worden met het uitschuren van de bodem door de aanwezigheid van turbulentie. Dit kan mogelijk de stabiliteit van de dammen in gedrang brengen.

Wat betreft het verschijnsel turbulentie dient een laatste opmerking te worden gemaakt. Doordat de Reynoldsgetallen in het schaalmodel kleiner zijn dan in prototype, kunnen schaafeffecten voorkomen (verschillende grootte en positie). Deze schaafeffecten worden versterkt door het vertrokken karakter van het fysisch schaalmodel. Om deze reden is voorzichtigheid geboden, bij de interpretatie van turbulentie in het (vertrokken) fysisch schaalmodel.

D. Getijdenturbines plaatsen

Net zoals windmolens vormen getijdenturbines een mogelijkheid om de ecologische voetafdruk van de (Belgische) bevolking te verminderen. Het vermogen dat kan worden ontwikkeld door een turbine (wind/getijde), wordt gegeven door de volgende vergelijking (theoretisch)

$$P_{\text{mech,ideal}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

Dit betekent dat desondanks de grotere massadichtheid van water t.o.v. lucht (ρ), het vermogen ontwikkeld door de getijdenturbine toch lager zal uitvallen, door de kleinere oppervlakte (A) en de kleinere instroomsnelheid van het water (U). Ook de aanwezigheid van een agressief zeeklimaat mag niet uit het oog worden verloren. Bovendien zal het onderhoud van deze turbines ook moeilijkheden met zich meebrengen. Duchatelet (2011) geeft een indicatie van het effect van getijdenturbines op de getijdenstroom in de Pas van het Zand.

IV. Besluit

De haven van Zeebrugge vormt een belangrijke pijler van de Vlaamse economie. Het is dan ook belangrijk om de groei van de haven te blijven stimuleren. Een haven kan enkel groeien indien deze goed bereikbaar is voor het scheepvaartverkeer. Een vlotte toegankelijkheid zorgt er immers voor dat rederijen de haven graag aandoen.

De dagelijkse scheepsbewegingen worden bemoeilijkt zowel door de beperkte waterdiepte in het havengebied (door de aanwezigheid van een sliblaag op de vaste bodem) en de aanwezigheid van een sterke getijstroom parallel met de havenmond. Hoewel beide problemen in de praktijk verweven zijn met elkaar, neem bijvoorbeeld de invloed van zowel kielspeling als dwarsstroom op de manoeuvreerbaarheid, bestaat het fysisch model uit een vaste bodem. Dit betekent dat beide processen worden losgekoppeld. In deze thesis wordt getracht de getijstroom volledig te ontleden en vervolgens oplossingen aan te reiken, waardoor het vaarvenster van de schepen kan worden vergroot.

In eerste instantie vormt het uitdiepen van de vaargeul een logische oplossing voor het probleem. Indien eenzelfde hoeveelheid water door een grotere sectie stroomt, zal de (gemiddelde) stroomsnelheid immers afnemen. Doordat de verdieping steeds over een beperkte zone van de vaarroute wordt uitgevoerd, blijft het effect beperkt. Een andere mogelijkheid bestaat erin de dwarsstroom weg te leiden van de havenmond. Hierdoor ontstaat een luwe zone, waardoor eventueel een herziening van het criterium omtrent de maximaal toegelaten dwarsstroomsnelheid kan worden toegepast. Een herziening van criterium kan natuurlijk enkel worden toegepast na het voeren van een brede discussie met specialisten in het vakgebied maritieme techniek en bijkomende manoeuvreersimulaties.

Een verlaging van de stroomsnelheid voor de havenmond zorgt ervoor dat het vaarvenster kan worden uitgebreid, met behoud van het huidige criterium. Dit kan worden bewerkstelligd door energie aan de stroom te ontnemen. Energiedissipatie ontstaat wanneer er zich een turbulentie in de stroom voordoet. Deze turbulente waterbeweging kan worden veroorzaakt door het plaatsen van een serie kleine dammen, die zorgen voor een neervorming in de lijzijde van de dammen. Ook getijdenturbines kunnen een dergelijk energieverlies induceren in de getijdenstroom. Hierbij ontstaat het bijkomend voordeel dat er elektriciteit kan worden opgewekt door het gebruik van deze turbines.

Dit werk kan worden gezien als een stevige basis, die kan worden gebruikt als raamwerk voor toekomstige studies. Zowel het gebruik van lange strekdammen, als de toepassing van een reeks kleine dammen, wordt uitvoerig besproken. Ook de verwerking van de metingen is verder op punt gezet door middel van het schrijven van elegante MATLAB scripts. De auteur moet echter ook bekennen dat enkele onderwerpen die aan bod komen in het werk een verdere uitwerking verdienen. Hierbij ligt de nadruk op de uitvoering van een studie, waarbij de schaafeffecten bij de vorming van 3D turbulentie worden bestudeerd. Dit vormt een essentiële link tussen de modelresultaten en de praktische uitvoering in prototype schaal.

Referenties

- Duchatelet M. 2011. Hoe getjidenturbines de dwarsstroom te Zeebrugge reduceren. Masterthesis vakgroep Civiele techniek, UGent.
- Martens C., R. Delgado, H. Verhaeghe, T. Verweast, and M. Willems. 2012. Improving the nautical access to Zeebrugge harbour: a multidisciplinary study.
- Nokes R. Streams. 2012. Version 2.0.1. System theory and design.
- Zobaa F. and C. Bansal. 2012. Handbook of Renewable Energy Technology.